



DEUTSCHES
PATENTAMT

(21) Aktenzeichen
(22) Anmeldetag
(43) Offenlegungstag

P 30 26 133 7
10 7 80
18 2 82

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 7000 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Gast, Theodor, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE; Binder, Kurt,
Dr.-Ing., 7000 Stuttgart, DE

DE 3026133 A1

(54) Elektromagnetisches Ventil

DE 3026133 A1

P.S. : :
9.7.1940 Dr

3026133

ROBERT BOSCH GMBH, 7000 Stuttgart 1

Ansprüche :

1. Elektromagnetisches Ventil mit kugelförmigem Sitz und kugelförmigem Drosselkörper, dadurch gekennzeichnet, daß gemäß Fig. 1 der Drosselkörper mit einem Permanentmagneten verbunden ist, der sich in einem von zwei zylindrischen Spulen (3) ^{u(4)} und einem ferromagnetischen Ring (5) gebildeten Hohlraum zwischen den zylindrischen Polen zweier ferromagnetischer Schalenkerne (1) ^{u(2)}, die die Spulen umschließen, unter dem Einfluß eines die Spulen durchfließenden Stromes je nach dessen Richtung bewegt und dabei das Ventil schließt oder öffnet.
2. Elektromagnetisches Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Permanentmagnet zylindrisch ist.
3. Elektromagnetisches Ventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zum Steuern des Ventils Impulse dienen.
4. Elektromagnetisches Ventil nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Permanentmagnet auf halber Strecke durch einen Impuls entgegengesetzten Vorzeichens gebremst wird.
5. Elektromagnetisches Ventil mit kugelförmigem Sitz und kugelförmigem Drosselkörper, dadurch gekennzeichnet, daß der Drosselkörper selbst aus Magnetmaterial besteht und permanent magnetisiert ist.

130067/0039

-2-

Elektromagnetisches Ventil

Es sind elektromagnetisch betätigte Ventile bekannt, bei denen ein Kegel oder eine Kugel mithilfe einer Feder in einen Ventilsitz gepreßt werden und in dieser Stellung einen dichten Abschluß und damit die Unterbrechung einer Strömung bewirken. Um die Strömung in Gang zu setzen, wird die Kugel gegen die Kraft der Feder mittels einer mit ihr verbundenen Platte aus ferromagnetischem Material durch einen Elektromagneten aus dem Sitz gezogen. Die Strömung bleibt solange bestehen, als der Elektromagnet die Platte hält. Obwohl solche Ventile schon eine lange Entwicklungszeit durchlaufen haben, haften ihnen doch Nachteile an, die prinzipieller Natur und daher konstruktiv nicht behebbar sind.

Sie haben grundsätzlich erhebliche Totzeit. Dies geht aus dem Diagramm Fig. 2 hervor, das über die Zeitachse den Verlauf der Spannung, des Stromes, der Anziehungskraft, der Beschleunigung, der Geschwindigkeit und des Weges zeigt.

Wird im Zeitpunkt $t = 0$ eine konstante Spannung U an die Magnet-spule angelegt, wie dies bei der praktischen Anwendung in der Regel geschieht, so steigt der Strom nach einer Exponentialfunktion

$$I = I_{\max} (1 - e^{-t/\tau}) \text{ auf einen Höchstwert } I_{\max} = U/R$$

an, worin R der ohmsche Widerstand der Spule, τ deren Zeitkonstante ist, für die $\tau = L/R$ gilt, wenn L die Selbstinduktivität der Spule bedeutet.

130067/0039

Folglich nimmt die Anziehungskraft von Null aus näherungsweise nach einer Funktion

$$F = k \frac{I^2}{l} \text{ zu, worin } l \text{ die Spaltweite und } k \text{ eine}$$

Konstante sind, in die der Eisenquerschnitt und die Windungszahl der Spule eingehen, und der magnetische Widerstand im Eisen vernachlässigt ist. Zum Zeitpunkt t_1 erreicht die magnetische Anziehungskraft den Betrag der Federkraft F_f , vermehrt um die Druckkraft, dann wird die Kugel abgehoben. Für die Druckkraft gilt

$$F_p = p \cdot A.$$

Hierin ist A die wirksame Fläche. Von diesem Zeitpunkt ab nimmt die Federkraft linear zu, die Anziehungskraft wächst überproportional, weil einmal der Strom zunimmt, zum anderen der Luftspalt abnimmt. Auf einem kurzen Weg wird die Druckkraft abgebaut. Am oberen Anschlag ist zum Zeitpunkt t_2 die maximale Anziehungskraft erreicht. Wird zum Zeitpunkt t_3 die Spannung abgeschaltet, und ist eine Freilaufdiode vorgesehen, dann klingt der Strom normalerweise exponentiell ab. Während des Weges der Kugel nimmt hier aber die Zeitkonstante ab, weil der Luftspalt anwächst. Die Anziehungskraft nimmt proportional zum Quadrat des Stromes und mit dem Kehrwert des Luftspaltes ebenfalls ab, und die Kugel bewegt sich beschleunigt zum Sitz hin, den sie im Zeitpunkt t_4 berührt. Kurz vorher beginnt sich der Gegen-
druck p der Flüssigkeit wieder aufzubauen.

Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß beim Öffnen und Schließen erhebliche Verzögerungszeiten auftreten. Diese sind in dem Maß unsicher, in dem Betriebsspannung, ohmscher Widerstand der Spule und Gegendruck schwanken.

Außerdem muß die Anziehungskraft während der Öffnungszeit durch einen fließenden Strom aufrecht erhalten werden, so daß eine nicht unerhebliche Verlustleistung auftritt.

Diese Nachteile werden beim Gegenstand der Erfindung, einem Ventil mit permanentmagnetischem Stellorgan weitgehend vermieden. Fig. 1 zeigt eine schematische Zeichnung der Anordnung. Die Schalenkerne (1) und (2) aus ferromagnetischem Material, vorzugsweise hoher Sättigungsinduktion, enthalten Spulen (3) und (4), die so geschaltet sind, daß ein sie durchfließender Strom an den inneren, einander zugekehrten Planflächen gleichnamige Pole erzeugt. Die magnetischen Feldlinien gehen von den Polen nach außen zu dem von den Schalen gebildeten konzentrischen Mantel. Zur Verdichtung der Feldlinien ist im zentralen Teil ein Ring (5) aus dem gleichen ferromagnetischen Material wie das der Schalenkerne eingesetzt, der mit einer dünnen Schicht aus einem Material von geringem Reibungskoeffizienten ausgebildet ist. Der untere Schalenkern (2) ist axial durchbohrt und mit einem eingeschraubten Ventilsitz (6) versehen. Die innere Polfläche des Schalenkerns (1) trägt eine dünne Platte (7) aus nichtmagnetischem Material. In den Hohlraum zwischen den Polen der Schalenkerne und der inneren Wand des Ringes (5) ist ein axial magnetisierter permanentmagnetischer Zylinder, z.B. aus Kobalt-Samarium (8), eingesetzt. Er trägt unten eine Scheibe aus Stahl, die in der Mitte konvex, vorzugsweise kugelförmig ausgebildet ist und vom Zylinder (8) in dessen unterer Lage in den Ventilsitz (7) dichtschiebend eingedrückt wird. In dieser Position ist die ebene Ringfläche der Scheibe nur wenig von der Polfläche des Schalenkerns (2) entfernt. In den unteren Schalenkern sind oberhalb der Wicklung ein Zufluß- und ein Abflußrohr (9) und (10) eingesetzt. Durch diese kann z.B. ständig ein Fluidstrom fließen, der bei Öffnen des Ventils angezapft wird.

Das Magnetsystem besitzt folgende Eigenschaften :

1.) Die Symmetrieebene des Ringes (5) ist bei mittlerer Stellung des Magneten (9) gleichzeitig Symmetrieebene des magnetischen Feldes. Für stromlosen Zustand der Spulen wird auf den Magneten in dieser Position keine Kraft ausgeübt. Er befindet sich im labilen Gleichgewicht.

2.) Bewegt sich der Kern auf einen der Pole der Schalenkerne zu, dann erhöht sich auf dieser Seite die Anziehungskraft, während sie auf der anderen Seite abnimmt. Bei sehr kleinem Luftspalt erreicht sie einen sehr hohen Wert, der sich aus dem die Stirnfläche des Magneten durchsetzenden Fluß berechnen läßt :

$$F = \frac{0,5 B_L^2 A}{\mu_0}$$
 Hierin bedeuten B_L die Luftspaltinduktion, A die Querschnittsfläche, μ_0 die Permeabilität des Vakuums.

Rechnen wir mit der heute realisierbaren Induktion von $B_L = 1 \text{ T}$, ferner einem verfügbaren Querschnitt von $0,5 \text{ cm}^2 = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, so ergibt sich $F = 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} / 1,26 \cdot 10^{-6} \approx 20 \text{ N}$.

Zwischen dem Druck p , gegen den das Ventil gerade noch abdichten könnte, der Haltekraft und der wirksamen Fläche A des Drosselkörpers gilt die Beziehung $p = F/A$. Für einen Berührungskreis der Kugel im Ventil-sitz von 4 mm ergibt sich eine wirksame Fläche von $0,13 \text{ cm}^2$. Die berechnete Kraft hält somit einem Druck von

$$\frac{20 \text{ N}}{10 \cdot 0,13 \text{ cm}^2} \approx 15 \text{ bar das Gleichgewicht.}$$

Um die Wirkung der Wicklungen auf den Magneten abzuschätzen, betrachten wir vereinfachend nur die Hälfte des Systems unterhalb der Symmetrieebene,

Bild 3 zeigt den Sachverhalt. Der von der Spule erzeugte Fluß ϕ_s tritt in den Mantel des Zylindermagneten ein und an der unteren Stirnfläche aus. Er überlagert sich dem eingepprägten Eigenfluß ϕ_E und erzeugt mit diesem zusammen die Kraft

$$F = C_1 (\phi_E + \phi_s)^2 - C_1 \phi_E^2$$

$$= C_1 (\phi_s^2 + 2 \phi_E \phi_s),$$

worin C_1 eine Konstante bedeutet. Hierin ist berücksichtigt, daß die reversible Permeabilität des Permanentmagneten praktisch gleich 1 ist.

Nehmen wir nun die oberer Hälfte des Systems noch hinzu, so heben sich bei der gegensinnigen Polung der Spulen die quadratischen Glieder weg, das gemischte Glied wird verdoppelt. Es gilt jetzt

$$F = 4 C_1 \phi_E \phi_F \quad \text{mit } C_1 = \frac{A}{\mu_0}$$

Hierin bedeutet ϕ_s den von jeder Spule erzeugten Fluß in mittlerer Stellung des Magneten. Bewegt sich der Magnet, so verändern sich die Flüsse in den beiden Hälften des Magnetsystems gegenläufig, so daß - zumindest in erster Näherung - die Summe konstant bleibt. Gegenüber bekannten Magnetventilen werden folgende Vorteile erzielt :

1.) Es ist keine Feder erforderlich, weil die magnetische Anziehungskraft in der geschlossenen Stellung des Ventils ausreicht, um dem Druck standzuhalten.

Der offene Zustand wird ebenfalls durch die Anziehungskraft des Permanentmagneten aufrecht erhalten. Daher genügen zur

Steuerung des Ventils Impulse, so daß der Energiebedarf erheblich gesenkt werden kann.

2.) Durch Verstellen des in den unteren Schalenkern eingeschraubten Rohres mit Ventilsitz (7) kann man die Haftkraft im geschlossenen Zustand so einstellen, daß sie einen geforderten Wert gerade erreicht.

Durch diese Justierung wird der zum Lösen erforderliche Strom auf einen Mindestwert gebracht und die Totzeit verringert.

3.) Um Prellungen und Beschädigungen von Ventilsitz und Kegel zu verhindern, kann die Stromrichtung nach Durchlaufen des halben Weges umgekehrt und dadurch die Bewegung gebremst werden. Durch Wahl von Amplitude und Dauer der Impulse läßt sich der Vorgang zeitlich optimieren.

Es ist auch denkbar, als Drosselkörper eine Kugel aus hartmagnetischem Material zu verwenden. In diesem Fall sollte der Ventilsitz aus weichmagnetischem Material bestehen, so daß er in den magnetischen Fluß einbezogen wird und der obere Pol eine der Kugel angepaßte Höhlung erhalten.

-8-
Leerseite

.9.

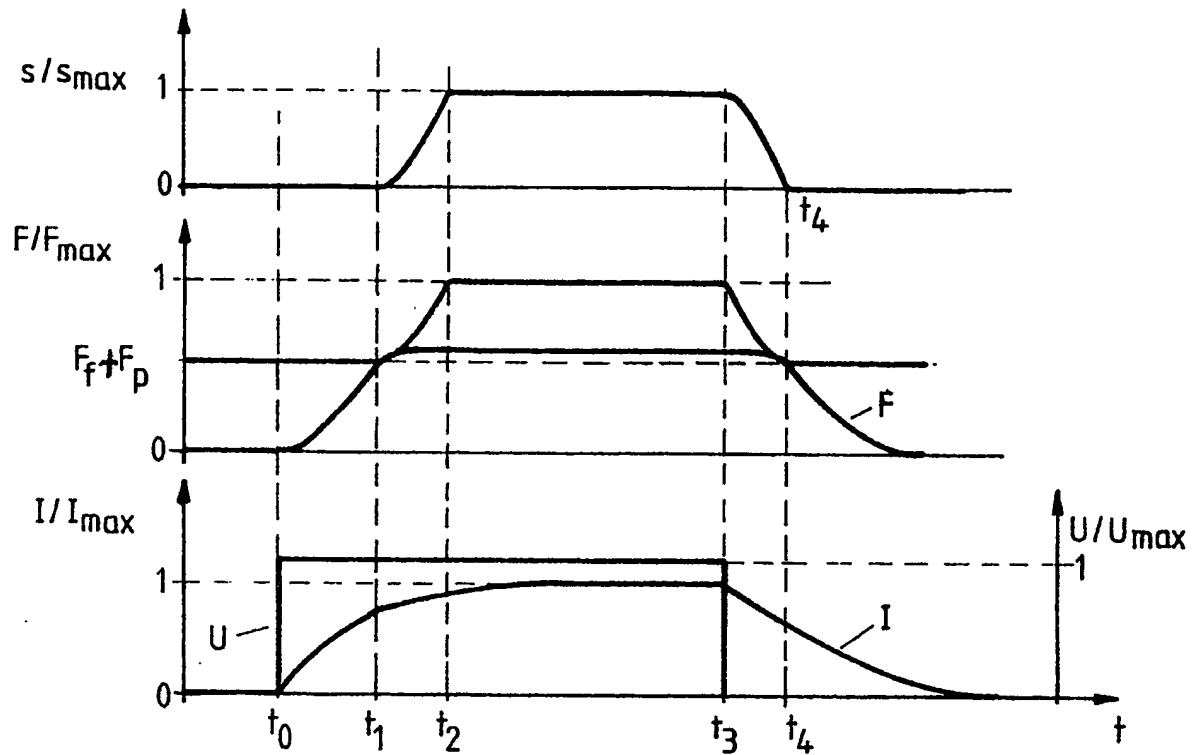


Fig.2

118

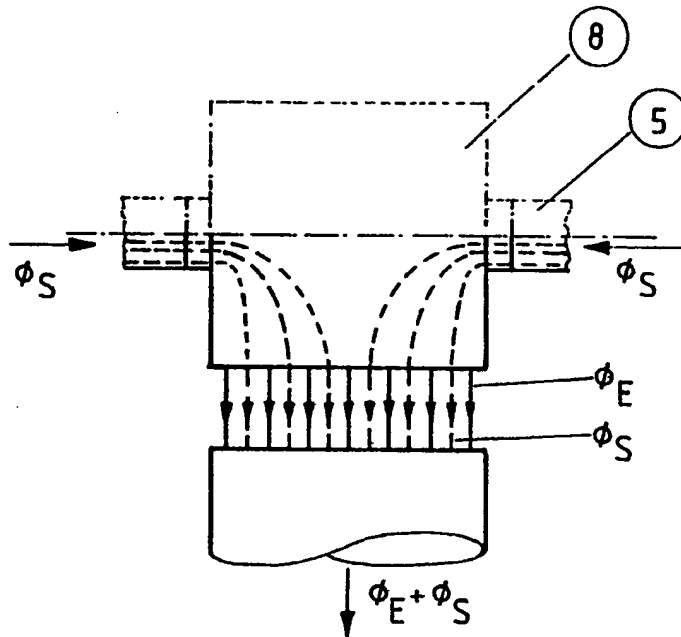


Fig. 3

3026133

Nummer: 3026133
 Int. Cl.³: F16K 31/06
 Anmeldetag: 10. Juli 1980
 Offenlegungstag: 18. Februar 1982

18

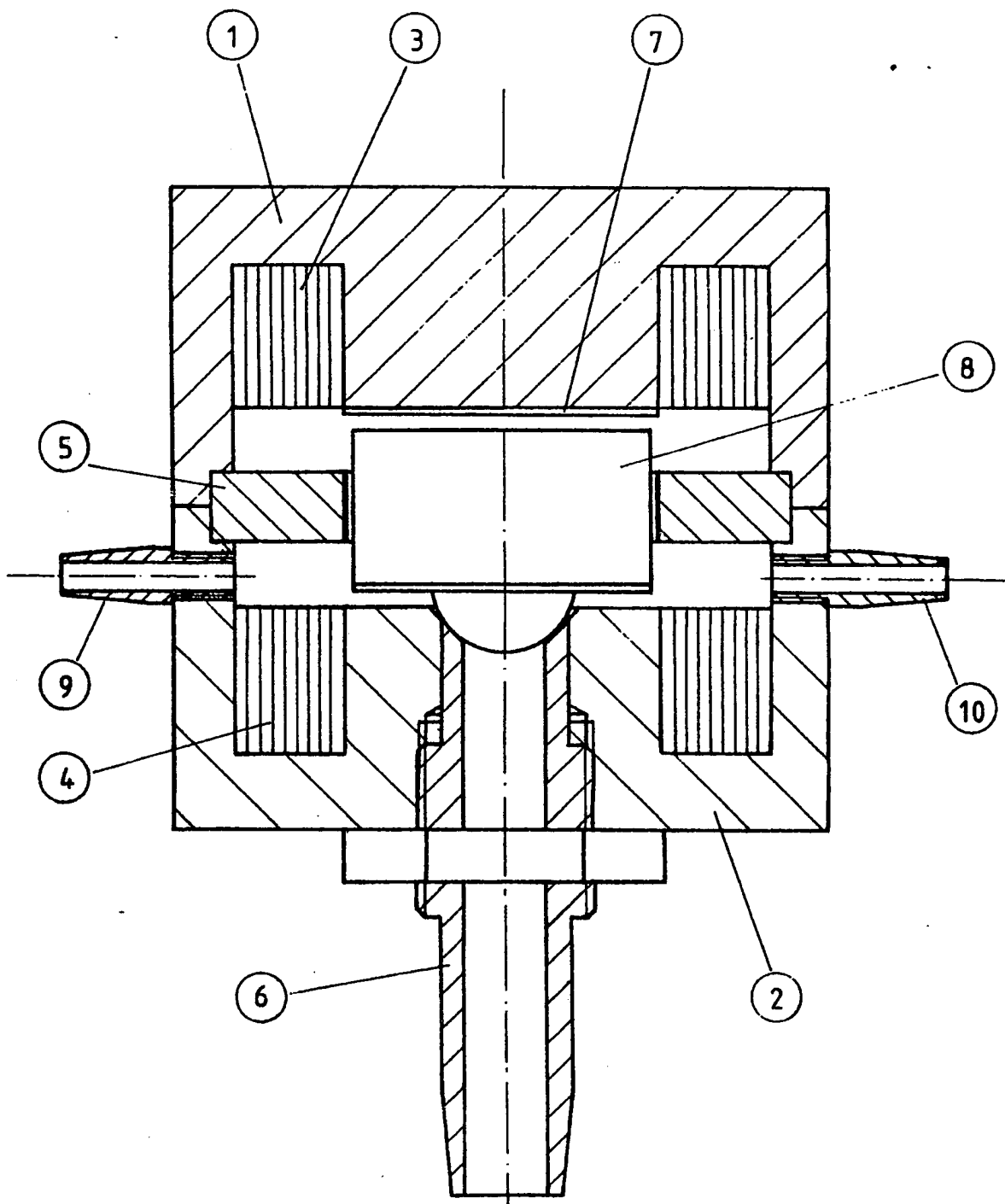


Fig. 1

130067/0039